



*Lothar Kolditz*

## **Gedankenübertragung und quantenphysikalische Verschränkung**

**Vortrag in der Klasse für Naturwissenschaften am 14. Februar 2013**

---

Von Anhängern der Gedankenübertragung werden Erlebnisse geschildert, die in der Hauptsache sich sehr nahestehende Personen betreffen und eine über Entfernung wirkende gedankliche Kopplung beschreiben, die besonders in momentan höchster Erregung, z. B. in Gefahrensituationen, auftritt. Auch Erfolge bei Fixierung von Personen auf sichtbare Entfernungen werden genannt. Alle diese Berichte stellen keine wissenschaftlichen Beweise dar und werden von Kritikern z. T. mit dem Versuch von Zufallserklärungen abgelehnt.

In dieser Betrachtung soll auf rein naturwissenschaftlicher Grundlage eine Abschätzung der Möglichkeiten zur Gedankenübertragung versucht werden, und zwar durch Analyse energetischer Gegebenheiten. Es erhebt sich die Frage, ob bei der Arbeit des Gehirns neben der selbstverständlichen vom Temperaturgefälle zur Außenwelt abhängigen Wärmeabgabe noch andere Energieformen, z. B. elektromagnetische Energie, nachweisbar abfließen. Dazu müssen wir uns verschiedenen Wissenschaftsgebieten zuwenden.

### **Human Brain Project**

Das Human Brain Project hat sich zum Ziel gesetzt, eine Computersimulation des menschlichen Gehirns zu erreichen. An ihm beteiligen sich global zur Zeit 130 Universitäten.

Zum einen wird erhofft, dass aus solchen Computermodellen Hinweise für neue Therapien von Demenzerkrankungen abzuleiten sind, weil eine daraus folgende Gesamtsicht des Gehirns die Chance bietet, derartige Krankheiten nach biologischen Kriterien neu zu beschreiben und Pharmaunternehmen in der Entwicklung von Theorien zu unterstützen. Ein zweiter Beweggrund hängt mit einer notwendigen Weiterentwicklung der Informatik zusammen. Zwar sind Supercomputer in der Lage, einfache Rechenoperationen mit einer Geschwindigkeit von Petaflops, das sind  $10^{15}$  Operationen pro Sekunde, auszuführen, sie übertreffen damit das Gehirn erheblich, sind aber in kognitiven Aufgaben hoffnungslos unterlegen. Das Ziel zur künstlichen Intelligenz ist noch weit entfernt.

Wie die Chancen für eine vollständige Simulation des Gehirns stehen, soll hier nicht ausführlich erörtert werden. Es sei nur auf wesentliche Eckpunkte hingewiesen. Die Chancen für den Aufbau eines virtuellen Gehirns hängen natürlich von der Rechengeschwindigkeit der verfügbaren Computer ab. Für die erfolgreiche Simulation eines einzelnen Neurons, die 2005 erreicht wurde, waren Gigaflops ( $10^9$  Operationen/sec) erforderlich. Die Modellierung einer neokortikalen Säule (zylindrisches Gewebestück) der Rattenhirnrinde mit 10000 Neuronen gelang 2008 mit verfügbaren Geschwindigkeiten von Teraflops ( $10^{12}$  Flops), 100 neokortikale Säulen wurden 2011 erreicht, für 2014 wird die Simulation des vollständigen Gehirns einer Ratte mit 100 Mesoschaltkreisen angestrebt, die erforderliche Rechengeschwindigkeit liegt im Petaflopereich ( $10^{15}$  Flops). Ein Modell des vollständigen menschlichen Gehirns (1000fache Kapazität des Mäusehirns) wird Exaflops ( $10^{18}$  Flops) erfordern und 2023 für möglich gehalten. Entsprechend steigt auch die notwendige Speicherkapazität von Megabyte ( $10^6$  Byte, 2005) auf Exabyte ( $10^{18}$  Byte, 2023) [1]. Allerdings werden die dazu notwendigen Computer sehr viel Energie verbrauchen, für den Exaflopereich werden 20 Megawatt abgeschätzt. Der hohe Energiebedarf der Computersimulation neuronaler Prozesse hängt mit der Abbildung mathematischer Modelle dieser Abläufe als digitale Schaltungsvorgänge zusammen, die einen energie- und zeitaufwendigen Umweg verursacht [2]. Das menschliche Gehirn verbraucht für seine Tätigkeit lediglich etwa 20 Watt. Um also erfolgreich ein Modell für das

menschliche Gehirn über Computersimulation zu erreichen, bedarf es zumindest eines Vorgehens nach grundsätzlich neuen Strategien und nicht nur des Einsatzes immer größerer Rechengeschwindigkeiten.

Kritiker halten eine vollständige Simulation des menschlichen Gehirns für unerreichbar, da eine virtuelle Repräsentation der rund 100 Billionen Synapsen nicht realisiert werden kann. Alle Kontakte zu erfassen, wird deshalb auch nicht mehr angestrebt. Es kommt vielmehr darauf an, die Regeln für den in der Evolution herausgebildeten Aufbau des Gehirns nachzuahmen, der sich in der Entwicklung eines jeden Fötus wiederholt. Die Regeln betreffen den Aufbau verschiedener Typen von Hirnzellen, den Plan ihrer Verteilung im Gehirn und den Ausbau ihrer Verbindungen untereinander [1].

## **Elektroenzephalographie und Magnetoenzephalographie**

Die Computersimulation des Gehirns im Human Brain Project lässt keine Hinweise zur Energieabgabe des menschlichen Gehirns erwarten. Vielmehr sind dazu experimentelle Messmöglichkeiten der natürlichen Hirnfunktion heranzuziehen, wozu das Elektroenzephalogramm bestens geeignet erscheint.

Hans Berger hat die Grundlagen der Elektroenzephalographie (EEG) 1924 in Jena entdeckt. Seine Veröffentlichung dazu erschien 1929 [3]. Es werden bei der Messung Spannungen in der Größenordnung von Mikrovolt ( $10^{-6}$  V) an der Hirnaußenschale abgegriffen. Erzeugt werden sie durch die komplexe Vielfalt an elektrischen Vorgängen bei der Arbeit des Gehirns. Sie lassen sich zwar nicht auf Einzelvorgänge aufschlüsseln, liefern aber in ihrem Gesamtbild wertvolle Hinweise zur Diagnose, die ständig in Erweiterung sind. Eine Einzelerörterung des Standes auf diesem Gebiet der EEG ist hier nicht berücksichtigt. Lediglich soll die Feststellung getroffen werden, dass das Elektroenzephalogramm einen Durchgriff von elektrischen Feldern bei der Arbeit des Gehirns nach außen anzeigt. Eine zusammenfassende Darstellung zum Stand der Elektroenzephalographie findet sich in dem Buch „Hirnströme“ von Cornelius Borck [4].

Nach der ersten Maxwellschen Gleichung erzeugt ein zeitlich sich änderndes elektrisches Feld ein magnetisches Wirbelfeld, was die Grundlage zur Magnetoenzephalographie liefert. David Cohen gelang es 1968 am Massachusetts Institute of Technology das erste Magnetoenzephalogramm aufzunehmen [5] und das Verfahren danach weiter auszubauen.

Aber wie bei der EEG wirken auch bei der Aufnahme von Magnetoenzephalogrammen äußerst schwache Felder ( $10^{-15}$  Tesla), die eine besonders aufwändige Abschirmung von äußeren Feldern erfordern. Das Erdmagnetfeld liegt an der Erdoberfläche in der Größenordnung von  $10^{-5}$  Tesla, ist also erheblich stärker.

Die Chance, derartig geringfügige Signale der Hirnströme zu erfassen, erfordert sehr empfindliche Aufnahmesysteme, die für EEG und MEG in mehreren Varianten zur Verfügung stehen.

Wie die Elektroenzephalographie liefert auch die Magnetoenzephalographie einen Gesamtüberblick über die Hirntätigkeit. Sie ist mit der Struktur ihrer Aufzeichnungen für diagnostische Zwecke sehr wertvoll, lässt sich aber auch nicht auf einzelne Vorgänge im Gehirn aufschlüsseln. Weitere Fortschritte werden sich durch intensive Forschungsarbeit ergeben, aber mit einer vollständigen Entwirrung der komplexen Signale bei billionenfacher Überlagerung von Einzelimpulsen ist wohl nicht zu rechnen (vgl. Human Brain Project). Erst eine orts- und richtungsabhängige Erfassung von Ausschnitten könnte weitere Aufklärung bringen.

## **Problem der Gedankenübertragung**

Die Energieströmung in einem sich zeitlich ändernden elektromagnetischen Feld wird durch den Poyntingschen Vektor beschrieben:

$$S = c/4\pi \left| \mathbf{E} \right| \cdot \left| \mathbf{H} \right| \cdot \sin \alpha.$$

Dabei ist  $S$  die in erg gemessene Energie, die je sec durch  $1 \text{ cm}^2$  Fläche fließt,  $c$  ist die Lichtgeschwindigkeit und  $\alpha$  der Winkel zwischen der Richtung des elektrischen Feldes  $E$  und der des magnetischen Feldes  $H$ .

Für die nach außen abgegebene elektromagnetische Energie der Hirntätigkeit kann also ein nur sehr geringer Betrag in Rechnung gestellt werden, der das Produkt aus zwei sehr schwachen Feldern beinhaltet. Außerdem nimmt er mit dem Quadrat der Entfernung vom Tätigkeitszentrum ab.

Für eine Gedankenübertragung stünden damit nur äußerst geringe Energiebeträge zur Verfügung, die nur bei sehr empfindlichen Aufnahmesystemen eine Registrierung ermöglichen würden. Wie bei normalen Funkwellen sollten dabei Verstärkerwirkungen über geeignete Antennen erreichbar sein.

Die für eine Antennenfunktion in Frage kommenden Komponenten in Form von Schwingkreisen (Kapazitäten und Induktionen) sind im Gehirn als offene Schwingkreise vorhanden. Sie eignen sich als Hertzsche Oszillatoren sowohl für Sende- als auch für Empfangseigenschaften.

Ein Empfang bei möglicher Gedankenübertragung wäre an eine sehr sensibel eingestellte Antenne gebunden. Von Befürwortern der Gedankenübertragung wird gerade auf diese Bedingung hingewiesen. Positive Effekte werden von geistig eng miteinander verbundenen Personen beschrieben.

Auch Hans Berger war Anhänger dieser Auffassung, was wohl seine Beschäftigung mit Hirnströmen stimulierte und schließlich zur Entdeckung der Elektroenzephalographie führte. Er hatte 1893 bei einer Militärübung einen Unfall, bei dem er nur knapp dem Tode entrann. Er war vor dem Rad einer durch sechs Pferde gezogenen Batterie zu liegen gekommen. Im letzten Moment hielten die Pferde an. Am selben Tag traf eine besorgte telegrafische Anfrage seines Vaters ein, der von der älteren Schwester Hans Bergers dazu veranlasst worden war. Sie stand ihrem Bruder besonders nahe und hatte an diesem Tage eine gefährliche Bedrohung Hans Bergers gespürt.

In seiner Forschung hat Hans Berger immer wieder versucht, eine Energiebilanz der Arbeit des Gehirns aufzustellen. Er suchte einen Energiebetrag, der abgehenden Gedanken zuzuordnen wäre, hatte aber keinen Erfolg.

Die vielen positiven Berichte zur Gedankenübertragung können zwar als Hinweise gelten, sind aber keine wissenschaftlichen Beweise. Eine Zwischenstufe dazu wäre erreicht, wenn eine Empfangsmessung entsprechender Energieabstrahlung in räumlichem Abstand vom tätigen Gehirn gelänge.

## Resonanz

Eine Verstärkung der geringen bei der Arbeit des Gehirns nach außen abfließenden Energiebeträge wäre durch Resonanzeffekte möglich.

Resonanz ist eine Erscheinung, die im physikalischen Sinn bei allen schwingungsfähigen Systemen auftreten kann und darauf beruht, dass einem System im Schwingungstakt von einem anderen System periodisch neue Energie zugeführt wird, wenn die schwingenden Systeme mit gleicher oder ähnlicher Frequenz aufeinander wirken.

Eine Resonanzverstärkung in unserer Betrachtung hätte zur Voraussetzung, dass übereinstimmende Schwingungsvorgänge aufeinander einwirken, deren Schwingungsenergie zwischen den Systemen (Schwingkreisen in den Gehirnen) übertragen wird.

## Verschränkung

Die folgenden Überlegungen benötigen zum Verstehen die Kenntnis einiger Grundbegriffe der Quantenphysik, die ich zu erläutern versuche. Eine sehr eingehende Darstellung dieser Begriffswelt findet sich in einem Buch von Anton Zeilinger: „Einsteins Spuk – Teleportation

und weitere Mysterien der Quantenphysik“ [6], in dem auch weiterführende Literatur genannt wird.

Der Begriff Verschränkung bezeichnet einen Zustand von Quantenteilchen, die so eng zusammenhängen, dass durch die Messung an einem Teilchen sofort die Eigenschaft des anderen Teilchens bestimmt ist, auch wenn sich die Teilchen getrennt voneinander aufhalten. Die Aufprägung von Eigenschaften auf einem Teilchen wird auch beim anderen Teilchen sofort wirksam. Die Verschränkung ist nach quantenmechanischer Formulierung zulässig.

Louis de Broglie forderte in seiner Doktorarbeit 1924, dass bewegten Materieteilchen auch Wellennatur zuzuordnen sei, was Anlass zur Entwicklung der Quantenmechanik war, in der Teilchen eine Wellenfunktion  $\psi$  zugeschrieben wird. Die De-Broglie-Beziehung für die Wellenlänge  $\lambda$  der Materiewelle lautet

$$\lambda = h/mv,$$

dabei ist  $h$  das Plancksche Wirkungsquantum,  $m$  die Masse des Teilchens und  $v$  seine Geschwindigkeit.

Erwin Schrödinger fand 1926 die nach ihm benannte Wellengleichung, die mit der Funktion  $\psi$  die quantenmechanischen Zustände eines Systems beschreibt. Mit ihrer Hilfe lässt sich die chemische Bindungsenergie berechnen oder abschätzen. Das Quadrat der Wellenfunktion  $\psi$  für Elektronen in der Atomhülle gibt deren Aufenthaltswahrscheinlichkeitsdichte in Abhängigkeit von den jeweiligen Energieniveaus an, woraus sich bei Atomkopplungen die Bindungsrichtungen ergeben.

Albert Einstein konnte sich mit der Eigenschaft der Verschränkung nicht anfreunden und bezeichnete sie als spukhafte Fernwirkung, die real ausgeschlossen werden muss.

Im Jahre 1935 veröffentlichte er zusammen mit Boris Podolsky und Nathan Rosen eine Arbeit mit dem Titel: „Can Quantum-Mechanical Description of Physical Reality Be Considered Complete?“ [7], in der für eine vollständige Theorie die Gültigkeit des Realitätskriteriums gefordert wird. Jedes Element der physikalischen Realität muss ein Gegenstück in der physikalischen Theorie haben. Die Formulierung von Einstein, Podolsky und Rosen für das Realitätskriterium lautet: Wenn ohne Störung des Systems der Wert einer physikalischen Größe mit Sicherheit (d. h. mit der Wahrscheinlichkeit 1) vorausgesagt werden kann, dann existiert ein Element der physikalischen Realität, das dem Wert der physikalischen Größe entspricht.

Die Autoren betrachten zwei Systeme mit ihren Wellenfunktionen  $\psi$ , die eine bestimmte Zeit in Wechselwirkung stehen und nach dieser Zeit keine Wechselwirkung mehr aufweisen. Die Überlegungen führen zur Lokalitätsannahme, wie sie später genannt wurde: Da die beiden Systeme zum Zeitpunkt der Messung nicht mehr miteinander in Wechselwirkung stehen, kann keine wirkliche Änderung in dem zweiten System als Folge von irgendetwas auftreten, das in dem ersten System gemacht wird. Das sind Feststellungen, die dem Empfinden des logischen Verstandes in der klassischen Physik entsprechen in einer Welt, wie wir sie kennen.

Die Aussagen der Quantenphysik sind damit nicht vollständig in Übereinstimmung zu bringen. So kommen die Autoren zu dem Schluss, dass die Beschreibung der Realität durch die Wellenfunktion nicht vollständig ist. Der Begriff Verschränkung wurde von ihnen noch nicht verwendet, er wurde von Erwin Schrödinger eingeführt.

Durch die Arbeit von Einstein, Podolsky und Rosen wurde Erwin Schrödinger zu einer ausführlichen dreiteiligen Veröffentlichung in der Zeitschrift *Die Naturwissenschaften* ange-regt mit dem Thema: „Die gegenwärtige Situation in der Quantenmechanik“ [8]. In diesen Ausführungen führte Schrödinger den Begriff Verschränkung ein. Schrödinger weist darauf hin, dass bei Wechselwirkung zweier Systeme unter Verschränkung nicht etwa ihre  $\psi$ -Funktionen in Wechselwirkung treten, sondern sofort aufhören zu existieren und an ihrer Stelle für das Gesamtsystem eine einzige  $\psi$ -Funktion zutrifft.

Auf Grund der Erfolge der Quantenphysik wurde schließlich die Verschränkungsdiskussion in den Hintergrund gedrängt. Die Arbeit von Einstein, Podolsky und Rosen fand wenig Beachtung, bis im Jahre 1964 John Stewart Bell [9] eine Ungleichung aufstellte, die erfüllt sein muss, wenn die Einstein-Podolsky-Rosen Bedingung gilt. Er zeigte auch, dass eine Theorie, die das Realitätskriterium und die Lokalitätsannahme von Einstein, Podolsky und Rosen beinhaltet, im Widerspruch zu quantenmechanischen Voraussagen steht.

Die experimentelle Überprüfung der theoretischen Arbeit von Bell erfolgte mit einer Verzögerung von fast zwei Jahrzehnten, nach weiteren mehr als 20 Jahren setzten dann intensivere Überprüfungen ein. Zeilinger und Mitarbeiter [10] haben Messungen an verschränkten Photonen vorgenommen und gefunden, dass für diese Fälle die Bellsche Ungleichung nicht erfüllt ist, was bestätigt, dass die Einstein-Podolsky-Rosen Auffassung für Quantenteilchen nicht zutrifft. Bei diesen Experimenten wurde auch nachgewiesen, dass eine dem einen Photon aufgeprägte Eigenschaft sofort auf das mit ihm verschränkte Photon übertragen wird, was einer Quantenteleportation entspricht.

Vor ihnen hatten bereits 1981 Aspect und Mitarbeiter [11] mit verschränkten Photonen die Verletzung der Bellschen Ungleichung nachgewiesen. Sie verwendeten laserangeregte Calciumatome zur Emission von verschränkten Photonen, die bei Messung bis zu 6,5 m entfernt waren.

Zeilinger und Mitarbeiter haben in Laser-Experimenten Photonen durch einen  $\beta$ -Bariumborat-Kristall in jeweils zwei verschränkte Teilchen mit der halben Ausgangsenergie umgewandelt, die in verschiedene Richtungen auseinander gehen.

Bei der ersten Versuchsserie handelte es sich um eine Entfernung der verschränkten Teilchen von etwa 600 m über die Donau hinweg in Wien [10]. In weiteren Experimenten auf Teneriffa und La Palma wurden verschränkte Photonen in einer Entfernung von 143 km untersucht [12]. Vorher hatten chinesische Forscher eine Entfernung von 97 km überbrückt [13].

Durch die Experimente werden solche Übertragungen zwischen Satelliten und der Erdoberfläche vorbereitet sowie die Überbrückung kosmischer Entfernungen [12].

Die Untersuchungen haben Bedeutung für die Entwicklung von Quantencomputern [12], [14], die bei Realisierung einen erheblichen Fortschritt in der Computerentwicklung darstellen, der nicht nur die Verbesserung der Computereigenschaften z. B. hinsichtlich der Geschwindigkeit von Operationen betrifft, sondern auch eine sichere Verschlüsselung von übertragenen Daten gewährleistet (Quantenkryptographie).

Im Zusammenhang vor allem mit den Zeilingerschen Untersuchungen kam die Verschränkungsdiskussion wieder in Gang, was an der Häufigkeit der Zitate für die Arbeit von Einstein, Podolski und Rosen deutlich wird. Nachdem die Arbeit zunächst kaum Beachtung fand, stieg die Zitierhäufigkeit 1985 von 10, 1995 auf 20 und 2005 auf über 100 an [15].

Der Nachweis der Verletzung der Bellschen Ungleichung durch verschränkte quantenphysikalische Systeme ruft weltanschauliche Konsequenzen hervor, die unser Weltbild zunehmend beeinflussen werden. Wesentlich ist dabei die Aussage, dass die Lokalitäts- und die Realitätsannahme nicht für die quantenphysikalische Welt gelten.

Es steht nun die Frage, ob Verschränkungen nicht nur bei Elementarteilchen, sondern auch mit zusammengesetzten Teilchen – also im makroskopischen Bereich – auftreten können. Die Schrödinger-Wellengleichung ist nicht auf einzelne Elementarteilchen beschränkt, wie das Beispiel der Berechnung chemischer Bindungsenergien mit dieser Gleichung zeigt.

Die Frage, ob größere Objekte als subatomare Teilchen Wellennatur annehmen können, besteht praktisch seit dem Nachweis von Elektronen- und Neutronenbeugung. Zeilinger und Mitarbeiter [16] haben nun die Wellennatur von Molekülen wie  $C_{60}$  nachgewiesen, indem sie bei einem auf einen Doppelspalt zufliegenden Molekülstrahl Interferenzerscheinungen fanden, die nur mit der Wellennatur der Teilchen erklärt werden können. Damit haben sie alle bisherigen Ergebnisse in Bezug auf die Masse der Teilchen mit nachgewiesener Wellennatur

erheblich überschritten. Wo die Grenzen bei makroskopischen Teilchen für die Verwendbarkeit quantenphysikalischer Betrachtungen liegen, ist nicht bekannt.

Die Frage, ob die Quantenphysik auch für das Gehirn Bedeutung hat, wird von Zeilinger angesprochen [17]. Nach der allgemeinen Meinung wird festgestellt, dass im Gehirn nicht die Bedingungen der Isolierung von äußeren Störungen herrschen, die für den Nachweis von Quantenphänomenen Voraussetzung sind. Jede Störung von außen würde die Beobachtung des Quantenphänomens unmöglich machen.

Zeilinger hält es aber dennoch nicht für ausgeschlossen, dass die Quantenphysik im Gehirn in irgendeiner Form zur Anwendung kommt und verweist in diesem Zusammenhang auf den Quantencomputer. Es wurde entdeckt, dass auch bei stärkerer Wechselwirkung der Quantenbits untereinander in einem Quantencomputer Informationen unter Ausschalten des Störungseinflusses gespeichert werden können.

Sollte dies zutreffen, was noch keineswegs erwiesen ist, so bestünde die Möglichkeit, dass unter besonderen Umständen eine Verschränkung von sich sehr nahe stehenden Personen über ihre Gedanken besteht.

## Resümee

Als Zusammenfassung dieser Betrachtung soll festgehalten werden, dass Gedankenübertragung noch in keiner Weise wissenschaftlich nachgewiesen ist. Die vielen Darstellungen von Gedankenübertragungen zwischen Personen sind nicht als wissenschaftliche Beweise zu werten, verdienen aber, als Impulse für weitere Untersuchungen Beachtung zu finden. Hans Bergers Überzeugung von der Realität der Gedankenübertragung war schließlich der Anlass für seine Forschungen und die Entdeckung der Elektroenzephalographie.

Die nach außen bei Arbeit des Gehirns auftretenden elektromagnetischen Felder sind äußerst schwach. Ihre Wirkung in der Entfernung von der Hirnoberfläche würde zur Registrierung besonders empfindliche Systeme erfordern. Antennen- und Resonanzverstärkung könnten dabei helfen. Ein Nachweis ist bisher nicht erfolgt, würde aber im positiven Falle als Beweis für die Möglichkeit von Gedankenübertragung gelten.

Eine Erweiterung dieser Überlegungen liegt in der Betrachtung des quantenphysikalischen Phänomens der Verschränkung, dessen Diskussion über Wirkung und Einfluss auf unser Weltbild noch keineswegs abgeschlossen ist. Sie geht sogar bis zur Meinung, dass die Verletzung der Bellschen Ungleichung und das Verschränkungsphänomen der Quantenphysik vergleichbar sind mit der Entdeckung von Kopernikus. Nur löste bei Kopernikus das solarzentrische System das geozentrische ab. Eine Auflösung des Verschränkungsrätsels ist jedoch bis heute noch nicht gelungen [18].

Unser Weltbild wird sich in Berücksichtigung gewonnener Erkenntnisse weiter entwickeln, wie stets vom Altertum bis in die heutige Zeit geschehen, wobei nach Ausgang des Mittelalters die bis dahin unter griechischem Einfluss vorrangige Rolle der Philosophie zunehmend durch naturwissenschaftliche Einsichten ergänzt wurde. Die Entwicklung ist nicht kontinuierlich. Ab und zu treten Schübe auf, die aber auch eine gewisse zeitliche Ausdehnung aufweisen können, ehe ihre Erkenntnisse als Gemeingut Anerkennung finden.

Das Aufleben der Beschäftigung mit dem Phänomen der Verschränkung scheint einen solchen Abschnitt eingeleitet zu haben, der unser Weltbild beeinflussen wird. Möglicherweise wird dabei ein gewisser Abschluss der Epoche erfolgen, die durch die verschiedenen aufeinander folgenden Stufen der Atomtheorie vorbereitet wurde. Wir leben in einer aufregenden Zeit mit sich rasch entwickelnden Erkenntnissen und erstaunlichen experimentellen Ergebnissen. Es sei nur an das Higgs-Teilchen erinnert.

Die Überlegungen und Untersuchungen werfen weitere Fragen auf. Gesetzte Grenzen sind dennoch vorhanden und lassen sich nicht überschreiten. Auch wenn wir immer weiter ergründen wollen, was die Welt im Innersten zusammenhält, wird wohl die Frage, warum und wieso die Materie existiert, nicht zu beantworten sein.

## Literatur

- [1] Henry Markram, Auf dem Weg zum künstlichen Gehirn, Spektrum der Wissenschaft [2012] Heft 9, S. 82-90.
- [2] Karlheinz Meyer, Neurone & Co.-Imitieren mit Silizium, Spektrum der Wissenschaft [2012] Heft 9, S. 92-99.
- [3] Hans Berger, Über das Elektrenkephalogramm des Menschen, Archiv für Psychiatrie 87 [1929], S. 527-570.
- [4] Cornelius Borck, Hirnströme, eine Kulturgeschichte der Elektroenzephalographie, 2005, Wallsteinverlag Göttingen.
- [5] David Cohen, Magnetoencephalography evidence of magnetic fields produced by alpha rhythm currents, Science 161 [1968] 784-786.
- [6] Anton Zeilinger, Einsteins Spuk: Teleportation und weitere Mysterien der Quantenphysik, 4. Auflage Taschenbuchausgabe Februar 2007, Wilhelm Goldmann Verlag München.
- [7] Albert Einstein, Boris Podolsky and Nathan Rosen, Can Quantum-Mechanical Description of Physical Reality Be Considered Complete ? Physical Review, 47 [1935] 777-780.
- [8] Erwin Schrödinger, Die gegenwärtige Situation in der Quantenmechanik, Naturwissenschaften 23 [1935] 807-812; 823-828; 844-849.
- [9] John Stewart Bell, On the Einstein Podolsky Rosen Paradox, Physics 1 [1964] 195-200.
- [10] Rupert Ursin, Thomas Jennewein, Markus Aspelmeyer, Rainer Kaltenback, Michael Lindenthal, Philip Walther and Anton Zeilinger, Quantum teleportation across the Danube, Nature 430 [2004] 849.
- [11] Alain Aspect, Philippe Grangier and Gérard Roger, Experimental Tests of Local Theories via Bell's Theorem, Phys. Rev. Lett. 47 [1981] 460-463.
- [12] Xiao-Song Ma, Thomas Herbst, Thomas Scheidl, Daqien Wang, Sebastian Kropatschek, William Naykor, Bernhard Wittmann, Alexandra Mech, Johannes Kofler, Elena Anisimova, Rupert Ursin and Anton Zeilinger, Quantum teleportation over 143 kilometres using active feed-forward, Nature 489 [2012] 269-273.
- [13] Juan Yin, Ji-Gang Ren, He Lu, Yuan Cao, Hai-Lin Yong, Yu-Ping Wu, Chang Liu, Sheng-Kai Liao, Fei Zhou, Yan Jiang, Xin-Dong Cai, Ping Xu, Ge-Sheng, Pan, Jian-Jun, Jia, Yong-Mei, Huang, Hao, Yin, Jian-Yu Wang, Yu-Ao, Chen, Cheng-Zhi, Peng and Jian-Wei Pan, Quantum teleportation and entanglement distribution over 100 km free-space channels, Nature 488 [2012] 185-188.
- [14] Rachel Won, Interviewing Alain Aspect: Talking entanglement, Nature Photonics 3 [2009] 486-487.
- [15] s. Literaturhinweis [6], S. 152.
- [16] Markus Arndt, Olaf Nairz, Julian Voss-Andreae, Claudia Keller, Gerbrand van der Zouw and Anton Zeilinger, Wave-particle duality of C<sub>60</sub> molecules, Nature 401 [1999] 680-682.
- [17] s. Literaturhinweis [6], S. 335 u. f.
- [18] s. Literaturhinweis [6], S. 196.